

REPUBLIQUE DU TCHAD

*_*_*_*_*

MINISTERE DE L'ELEVAGE ET DE
PRODUCTION ANIMALE

*_*_*_*_*

SECRETARIAT GENERAL

*_*_*_*_*

ECOLE NATIONALE DES
TECHNIQUES D'ELEVAGE

UNITE - TRAVAIL - PROGRES

وحدة - عمل - تقدم



جمهورية تشاد

*_*_*_*_*

وزارة الثروة الحيوانية والإنتاج
الحيواني

*_*_*_*_*

الأمانة العامة

*_*_*_*_*

المدرسة الوطنية لتقنيات الثروة الحيوانية

*_*_*_*_*

BIOLOGIE GENERALE

(1^{ère} Année des Techniciens Supérieurs)

CHARGE DE COURS : M. MBAIWASSEMNOU DJEKEME Evariste

(Doctorant en Santé et Production Animale)

ANNEE ACADEMIQUE 2025-2026

Table des matières

I-	ORIGINE DE LA VIE	4
II-	STRUCTURE CELLULAIRE	6
a-	La membrane cellulaire	7
b-	Le cytoplasme et les organites	9
c-	Le noyau cellulaire	10
III-	BASES MOLECULAIRES DE LA VIE	11
a-	Acide désoxyribonucléique (ADN).....	11
b-	Acide ribonucléique (ARN)	12
c-	Les nucléotides.....	12
IV-	MORPHOLOGIE CELLULAIRE	14
V-	PHYSIOLOGIE CELLULAIRE	14
1-	Concepts clés en physiologie cellulaire	15
a-	Echanges cellulaires	15
b-	Signalisation cellulaire	15
VI-	METABOLISME CELLULAIRE.....	15
a-	Premier rôle : établissement de la structure.....	16
b-	Deuxième rôle : la fonctionnalité proprement dite	16
c-	Troisième rôle : communication entre structure et fonctionnalité	16
1-	Dualité catabolisme – anabolisme : aspect apparent du métabolisme.....	17
2-	Dualité métabolique	18
VII-	PHENOMENES DE MEMBRANES.....	19
a-	Structure de la membrane	19
b-	Composants majeurs.....	20
c-	Perméabilité membranaire.....	21
d-	Endocytose et exocytose	22
VIII-	MECANISMES CELLULAIRES DE LA REPRODUCTION.....	24
A-	MITOSE.....	24
B-	MEIOSE.....	26
a-	Première division méiotique : division réductionnelle	26
	Prophase I	26
	Métaphase I.....	26
	Anaphase I	26
	Télophase I et Cytodiérèse I	26

b- Deuxième division méiotique : division équationnelle	27
Prophase II :.....	27
Métaphase II :	27
Anaphase II :.....	27
Télophase II :	27
IX- DIFFERENCIATION CELLULAIRE.....	27
X- L'AUTOCONSERVATION ET L'AUTOREGULATION.....	28
a- La voie de signalisation LIF/GP130 contrôle l'équilibre autorenouvellement-différenciation des cellules es	29
XI- MODES DE REPRODUCTION.....	30
1- La reproduction sexuée	30
1-1 Types de reproduction.....	31
a- Les ovipares	31
b- Les vivipares	32
c- Les ovovivipares	32
2- La reproduction asexuée	32
BIOLOGIE GENERALE II.....	34
I- LES COMPOSES IMPORTANTS EN BIOLOGIE : PROPRIETES DES ENZYLES ET ACTIVITES ENZYMATIQUES	34
1- Les enzymes sont des catalyseurs	34
2-Site actif	35
3- Propriétés des enzymes	35
II- CELLULE PROCARYOTE	36
III- CELLULE EUCARYOTE	37
IV- ORGANISATION TISSULAIRE	40

I- ORIGINE DE LA VIE

On croyait par le passé que les êtres vivants se forment par génération spontanée. On peut lire ainsi dans un traité de botanique datant de 1609 : « Il existe un arbre, peu commun en France, il est vrai, mais fréquemment observé en Écosse. Des feuilles tombent de cet arbre ; d'un côté elles touchent l'eau et se transforment en poissons, de l'autre côté elles touchent la terre et se transforment en oiseaux »

Francesco Redi (1626-1691) semble avoir été le premier à aborder expérimentalement le problème : il montra que les asticots qui donnent naissance aux mouches ne proviennent pas d'une génération spontanée mais d'œufs de mouche. Au dix-neuvième siècle, la presse se fit l'écho de la querelle entre pasteur et Pouchet et la question commença à intéresser le grand public. Pouchet prétendait démontrer l'existence de la génération spontanée. Pasteur contestait formellement ses résultats et démontra que la soi-disant génération spontanée était systématiquement causée par une contamination microbienne qui pouvait être évitée par une stérilisation.

La naissance de la pensée évolutionniste avec Lamarck (1744-1829) et Darwin (1809-1882) et la montée du rationalisme scientifique eurent raison de la philosophie vitaliste selon laquelle les substances organiques diffèrent des substances inorganiques par des qualités spéciales. Friedrich Wöhler (1800-1882) démontra en 1828 que les substances organiques sont des substances ordinaires lorsqu'il obtint de l'urée, réalisant pour la première fois la synthèse chimique d'une substance organique. Au cours du dix-neuvième siècle, toutes sortes d'autres substances organiques de plus en plus complexes, seront obtenues par synthèse. En 1897, en montrant qu'un extrait acellulaire de levure peut réaliser la fermentation du sucre en alcool, Eduard Büchner (1860-1917) prouvait qu'une activité métabolique peut se produire en l'absence de cellules. Il obtint le prix Nobel de chimie en 1907. Enfin, en 1926, une enzyme fut obtenue à l'état cristallisé pour la première fois par James Sumner (1887-1955) qui reçut le prix Nobel de chimie en 1946 conjointement avec J.H. Northrop et W.M. Stanley. D'autres chercheurs comme Charlton Bastian en Angleterre et Raphaël Dubois et Stéphane Leduc en France tentèrent sans succès d'obtenir une génération spontanée au laboratoire mais l'idée que l'apparition de la vie résulte d'une évolution chimique continua à progresser. Elle fut notamment soutenue par de grands biologistes tels Thomas Huxley (1825-1895), Ernst Haeckel (1834-1919) et Eduard Pflüger (1829-1910).

Au début du vingtième siècle, Herman von Helmholtz (1821-1894) et William Thomson (1824-1907), futur lord Kelvin, formulèrent une théorie de la panspermie. Elle fut popularisée par Svante Arrhenius (1859-1927) dans son ouvrage *L'Évolution Des mondes* publiés en 1906. Cette théorie considère la vie comme une caractéristique fondamentale de l'univers au même titre que la matière et l'énergie. La Terre aurait été « ensemencée » par une vie extraterrestre. En 1969, on trouva d'ailleurs dans une météorite tombée en Australie de nombreuses substances organiques, notamment des acides aminés. D'autres molécules organiques furent aussi identifiées dans l'espace par les astronomes. Les premières molécules organiques seraient-elles venues de l'espace ?

Cependant, la connaissance de plus en plus précise du fonctionnement cellulaire permit de montrer au début du vingtième siècle que la vie correspond à un nombre limité de réactions chimiques canalisées et ordonnées par des enzymes. Dans les années 1920, les biochimistes Alexandre Oparine (1894-1980) et John Haldane (1892-1964) purent proposer indépendamment que des molécules organiques auraient pu se former à l'origine dans une sorte de soupe primitive à partir de précurseurs minéraux (méthane, ammoniac, hydrogène) présents dans l'atmosphère primitive. Oparine, notamment, mena une série de travaux expérimentaux qu'il présenta dans son premier ouvrage, publié en 1936 puis traduit dans plusieurs langues. Mais d'autres chercheurs proposaient aussi une atmosphère primitive de composition chimique différente, contenant en particulier du dioxyde de carbone. Des chimistes comme W. Groth et H. Suess et des biologistes comme A. Dauvilliers et E. Desguins proposèrent aussi des hypothèses photochimiques. À partir des années 1950, les travaux expérimentaux s'appuyant sur ces modèles vont se multiplier. Le biologiste Melvin Calvin, né en 1911, rendu célèbre par ses travaux sur la photosynthèse qui lui vaudront le prix Nobel de chimie en 1961, tenta à partir de 1951 de recréer une chimie prébiotique. Il publia une revue des travaux sur le sujet en 1961 dans. *Enzymes L'origine de la vie sur Terre in vitro Chemical Evolution*

En 1953, dans le laboratoire du chimiste américain H. Urey (prix Nobel de chimie 1934 pour la découverte de l'eau lourde), Stanley Miller obtint la formation d'acide cyanhydrique et d'acides aminés à partir d'un mélange gazeux soumis à des décharges électriques. Il montrait ainsi pour la première fois que des précurseurs de molécules biologiques peuvent résulter d'une chimie élémentaire de précurseurs minéraux même si l'on sait aujourd'hui que l'atmosphère primitive était moins réductrice que son mélange gazeux expérimental. Dans les années suivantes, des bases azotées, des acides aminés, des sucres, des nucléosides seront également obtenus et même polymérisés dans les conditions

les plus diverses. Le modèle de la soupe prébiotique s'accommode pourtant mal de l'extrême dilution des réactifs en milieu liquide et A. Cairns-Smith et G. Wächtershäuser montrent que l'adsorption et la polymérisation de différentes molécules organiques peuvent se produire sur des surfaces minérales ayant des Le problème de la compartimentation reste de toute façon posé puisque la membrane cellulaire est commune à tous les êtres vivants qui ont dû l'hériter d'un ancêtre unicellulaire commun. C'est pourquoi Oparine et le chimiste américain Sidney Fox tentèrent de former différents types de gouttelettes limitées par une enveloppe de polymères, des coacervats. Certains se révèlent capables d'abriter des réactions métaboliques élémentaires comme l'accumulation transmembranaire de substances ou le transport d'électrons, certains bourgeonnent ou se divisent, mais on reste cependant loin d'une hypothétique protocellule.

Après la seconde guerre mondiale, la biologie devient moléculaire tandis que sont élucidées la structure des protéines puis celle des acides nucléiques et que le dogme central de la biologie moléculaire est formulé en 1958 par Francis Crick. Dès lors se pose le problème de l'origine de l'information génétique. À la fin des années 1960, Leslie Orgel, Francis Crick et Carl Woese proposent l'hypothèse de molécules d'ARN autorépliquatives pour expliquer l'origine du matériel génétique et Sol Spiegelman étudie expérimentalement l'évolution de l'ARN au cours de cycles réplcatifs catalysés par une enzyme. L. Orgel montre que la réplcation des ARN est possible dans différentes conditions et, à partir de 1990, il devient possible de faire évoluer, par sélection, des populations de molécules d'ARN. Dès lors, on envisage un monde ancestral à ARN et la découverte par Thomas Cech et Sidney Altman en 1982 des ribozymes, ARN doués de propriétés catalytiques, (ce qui leur vaudra le prix Nobel de chimie en 1989), va dans le même sens. Il en est de même des propriétés catalytiques de certains ARN des ribosomes (organites cellulaires universels nécessaires à la synthèse des protéines) dont la structure et les fonctions ont été élucidées en 2000. Dans ce cas, le monde vivant actuel fondé pour l'essentiel sur la relation ADN ----> ARN ----> Protéines aurait évolué à partir d'un monde vivant où l'ARN remplissait toutes les fonctions.

II- STRUCTURE CELULAIRE

La cellule est l'unité structurelle et fonctionnelle la plus simple en laquelle peut être divisé notre organisme. L'être humain possède plusieurs milliards de cellules. Les cellules se lient en combinaisons diverses constituant les tissus, les organes, puis les systèmes, et enfin l'organisme tout entier. L'étude des cellules est la cytologie.

Les cellules n'ont pas toutes la même forme ni la même durée de vie. Leur forme est liée à leur fonction dans l'organisme, ainsi :

- les globules rouges ont une forme de disque ;
- les cellules musculaires sont cylindriques ;
- les cellules nerveuses sont ramifiées ;
- les cellules adipeuses sont sphériques.

Chaque cellule forme un compartiment microscopique de l'ordre du micron (millième de millimètre), et est une véritable petite usine dans laquelle chaque élément assure une fonction particulière. Ces éléments sont les organites cellulaires. Ils baignent dans un liquide appelé cytosol. L'intérieur de la cellule comprend deux grandes parties : le cytoplasme et le noyau (certaines cellules comme les érythrocytes n'en possèdent pas). Tout élément ou espace situé dans la cellule est dit intracellulaire. Tout élément ou espace situé hors de la cellule est dit extracellulaire.

a- La membrane cellulaire

La cellule est entourée d'une enveloppe : la membrane plasmique ou cytoplasmique. Cette dernière assure les fonctions suivantes :

- elle sert de barrière protectrice entre le milieu intra- et extracellulaire ;
- elle transporte des substances du milieu intracellulaire vers le milieu extracellulaire, et inversement ;
- elle permet la cohésion ainsi que la reconnaissance des cellules entre elles ;
- elle possède des récepteurs qui lui permettent de reconnaître les substances chimiques telles que les hormones, les enzymes, les nutriments et les anticorps. Les antigènes sont situés à la surface de la membrane plasmique. Ceux qui sont situés sur les globules rouges déterminent les groupes sanguins.

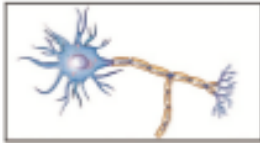
Type	Exemple	Caractéristiques structurales	Fonctions
Cellules nerveuses		Surface sensible aux stimuli. Longues extensions.	Détection des changements dans l'environnement interne ou externe. Transmettent des impulsions nerveuses d'une partie l'organisme à l'autre.
Cellules musculaires		Allongées, filiformes. Contiennent de petites fibres qui glissent ensemble l'une sur l'autre.	Se contractent (se raccourcissent), permettant ainsi le mouvement des différentes parties du corps.
Globules rouges		Contiennent de l'hémoglobine, un pigment rouge qui capture, puis libère, l'oxygène.	Transportent l'oxygène dans la circulation sanguine (des poumons aux autres parties de l'organisme).
Cellules glandulaires		Contiennent des vésicules qui libèrent une sécrétion à l'extérieur de la cellule.	Libèrent des substances comme les hormones, les enzymes, le mucus et la sueur.
Cellules immunitaires		Certaines ont des membranes extérieures capables d'absorber d'autres cellules. Certaines ont des systèmes qui élaborent des anticorps. Certaines sont capables de détruire d'autres cellules.	Reconnaissent et détruisent les cellules du « non soi » comme les cellules cancéreuses ou des bactéries agressives.

Fig. : La forme des cellules du corps (Thibodeau *et al.*, 2022)

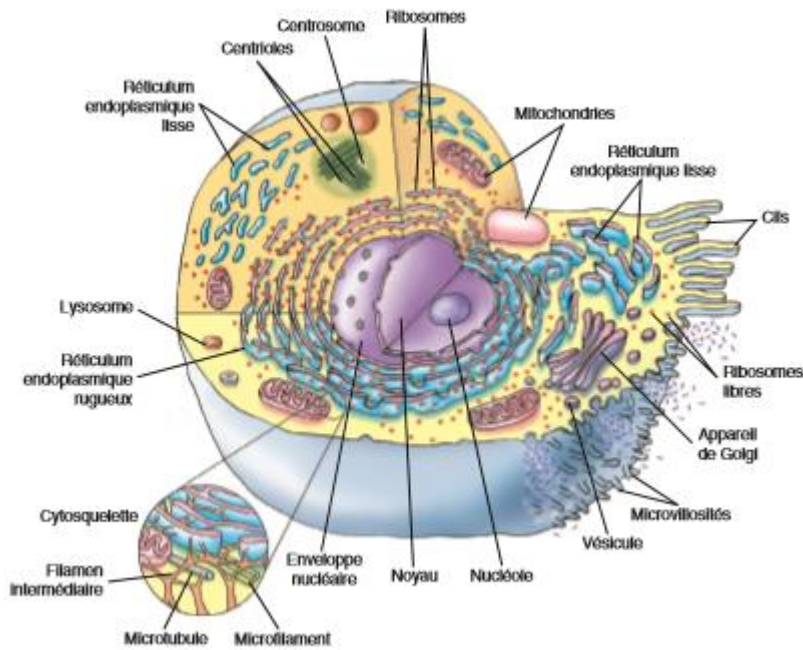


Fig. : cellule animale (Thibodeau *et al.*, 2022)

b- Le cytoplasme et les organites

Le cytoplasme est un gel incluant du cytosol et un certain nombre de petites structures appelées organites. Il se situe à l'intérieur de la membrane plasmique et à l'extérieur du noyau cellulaire.

Les organites ont des fonctions métaboliques bien définies :

- les ribosomes : ce sont des petites unités de faible diamètre dont le rôle est de synthétiser les molécules de protéines à partir des acides aminés. Ils utilisent pour cela les ordres donnés par le noyau cellulaire. Ils peuvent soit être isolés dans le cytoplasme, soit être intégrés à la surface du réticulum endoplasmique ;
- le réticulum endoplasmique (lisse et granuleux) : le réticulum endoplasmique granuleux est appelé ainsi car il porte à sa surface des ribosomes ; son rôle est de stocker et de distribuer les protéines synthétisées par les ribosomes aux autres organites ou de les excréter hors de la cellule. Le réticulum endoplasmique lisse ne porte pas de ribosome ; sa fonction est la synthèse des lipides et des lipoprotéines et la mise en réserve du calcium ;
- l'appareil de Golgi : il en existe un seul par cellule, situé près du noyau. Sa fonction est de récupérer les protéines synthétisées par les ribosomes, de les trier et de les distribuer de la périphérie de la cellule vers le milieu extracellulaire. Sa fonction est plus importante dans les cellules sécrétoires ;

- les mitochondries : leur fonction est de fournir l'énergie aux cellules (ce sont de véritables petites centrales énergétiques). Cette énergie est fabriquée à partir des nutriments apportés à la cellule. Elles sont en plus grand nombre dans les cellules du foie et des muscles qui ont besoin de beaucoup d'énergie ;
- les lysosomes : ce sont des vésicules qui contiennent des enzymes lytiques dont le rôle est de détruire les diverses substances qui ont envahi la cellule (exemple : bactéries). Ils peuvent digérer d'autres organites qui ont été endommagés et qui ne sont plus fonctionnels. On trouve les lysosomes dans les polynucléaires neutrophiles ;
- les centrioles : leur fonction est de diriger tels des « aimants » le sens de la division cellulaire ;
- les vacuoles : ce sont des petites cavités sphériques et mobiles qui tiennent en réserve des substances dont la cellule aura besoin ou des déchets d'origines diverses.

c- Le noyau cellulaire

Presque toutes les cellules contiennent un seul noyau cellulaire, sphérique ou ovoïde, qui se trouve en général près du centre de la cellule (certaines cellules possèdent plusieurs noyaux tels les polynucléaires ; d'autres n'en possèdent pas tels les globules rouges). Le noyau est entouré par la membrane nucléaire. Il comprend deux éléments : le nucléole et la chromatine qui baignent dans un liquide, le nucléoplasme.

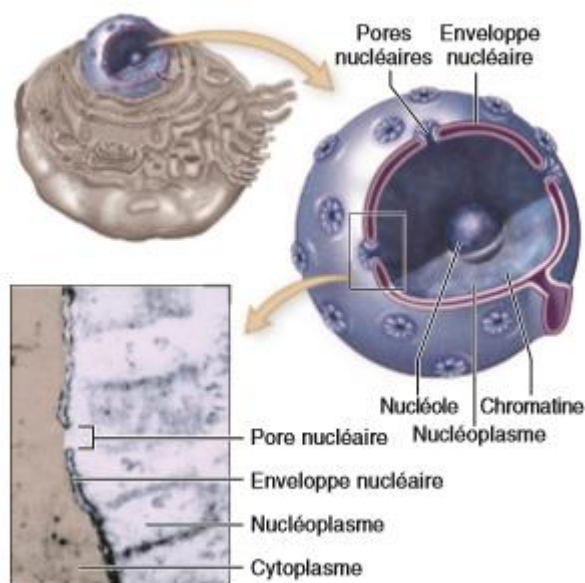


Fig. : Le noyau cellulaire (Thibodeau *et al.*,2022)

Le noyau commande l'activité métabolique de la cellule. Il contient les codes qui permettent la synthèse des protéines et la division cellulaire. La chromatine contient 46

chromosomes constitués d'acide désoxyribonucléique (ADN) porteurs du code génétique (caractères héréditaires). Les instructions pour la fabrication des protéines sont contenues dans des régions particulières de l'ADN que l'on appelle les gènes. Chaque gène possède les informations pour la création d'une protéine spécifique. Les protéines sont constituées d'une suite d'éléments mis bout à bout, les acides aminés. Selon le nombre et l'ordre dans lequel sont rangés les acides aminés, une protéine spécifique est constituée. Les nucléoles, habituellement au nombre de deux, contiennent de l'acide désoxyribonucléique et de l'acide ribonucléique ou ARN. Ce dernier décode les informations génétiques en instructions et assure leur exécution. Il peut traverser la membrane du noyau cellulaire

III- BASES MOLECULAIRES DE LA VIE

Les acides nucléiques sont des composés connus depuis le 9^{ème} siècle, on sait qu'ils se trouvent dans les cytoplasmes et dans d'autres organites cellulaires (noyaux, mitochondries, plastes...). A la fin du 19^{ème} siècle, on a découvert que ces molécules étaient un polymère formé par l'enchaînement de nucléotides. Les acides nucléiques jouent un rôle fondamental dans le stockage, le maintien et le transfert de l'information génétique. Il existe deux types d'acide nucléique : l'acide ribonucléique (ARN) et l'acide désoxyribonucléique (ADN).

a- Acide désoxyribonucléique (ADN)

Support biochimique de l'information génétique chez tous les êtres vivants (à l'exception de quelques virus qui utilisent l'ARN).

• Les ADN des différents êtres vivant

L'ADN de tous les êtres vivants possède :

-La même structure, soit deux brins (1 brin pour certains procaryotes et virus) constitués par une succession de plusieurs nucléotides.

Ce qui distinguera les espèces sera :

-Le nombre de molécules : une molécule dans un virus ou une bactérie, plusieurs molécules dans une cellule.

-La longueur : Quelques milliers de nucléotide ou plusieurs milliards (répartis sur plusieurs chromosomes), par exemple chez l'homme, l'ADN nucléaire comprend 3.5 milliards de paires de nucléotides, répartis dans 46 chromosomes et l'homme possède 1000 fois plus d'ADN qu'Escherichia coli. Les virus possèdent les acides nucléiques les plus courts (ADN ou ARN) quelques milliers à plusieurs dizaines de millions de nucléotides.

-La forme : Linéaire ou circulaire

-Localisation : ADN séparé ou non du cytoplasme par une membrane nucléaire.

-La séquence des bases azotées (ou de nucléotides) qui sera caractéristique de chaque molécule d'ADN, ce sont ces séquences qui joueront un rôle biologique capital (des séquences de bases différentes donneront des messages différents donc des protéines différentes).

- Eucaryotes / procaryotes : A l'intérieur de chacune de leurs cellules, les eucaryotes possèdent un noyau : petit sac entouré d'une membrane semi-perméable renfermant les chromosomes. L'Homme, ainsi que les animaux, les plantes et les champignons, sont des eucaryotes. Chez les eucaryotes, les gènes sont le plus souvent constitués de deux types de séquence nucléotidique : l'une est dite codante et l'autre non codante. Les parties codantes, appelées exons, portent l'information qui sera directement utilisée pour fabriquer les protéines. Entre les exons se trouvent les introns, non « lus » lors de la traduction. Du fait de cette disposition alternée exon/intron, on emploie l'expression gène mosaïque.

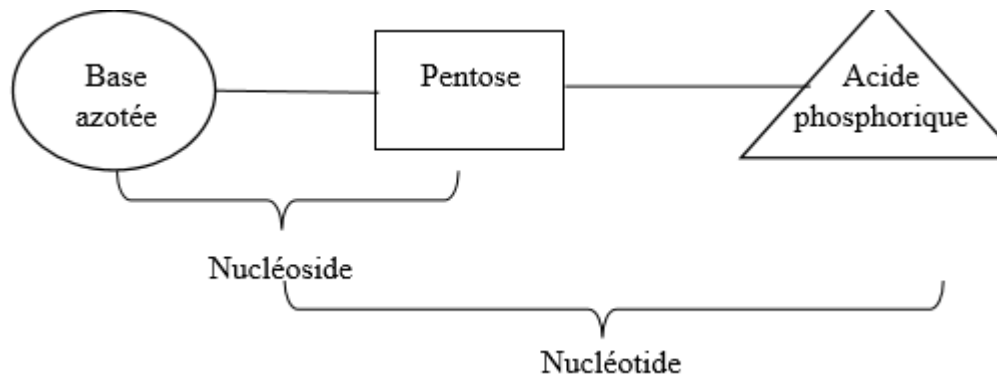
Chez les procaryotes l'ADN est situé dans le cytoplasme et constitue un seul chromosome, souvent circulaire, L'ADN est mono ou bicaténaire.

b- Acide ribonucléique (ARN)

Dans les cellules, on distingue plusieurs types d'ARN suivant leur fonction. Les trois types principaux sont : les ARN messagers, les ARN de transfert et les ARN ribosomiaux. L'ARN est un acide nucléique constitué d'une seule chaîne de nucléotides, de structure analogue à celle de l'ADN. Il existe cependant des différences chimiques entre ces deux acides nucléiques qui donnent à l'ARN certaines propriétés particulières. L'ARN est produit par transcription de l'ADN.

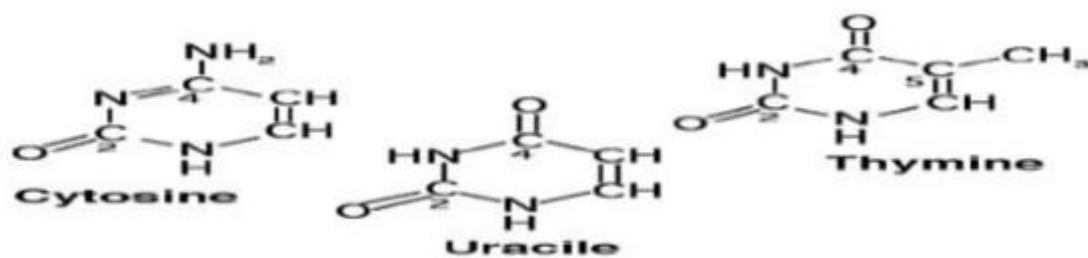
c- Les nucléotides

Le nucléotide est un motif structural de base (monomère) des acides nucléiques, formé de l'assemblage de plusieurs molécules.

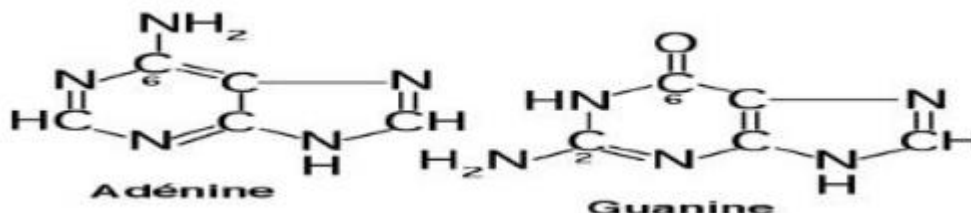


Cinq bases majeures, partagées en deux séries, entrent dans la composition des nucléotides et leurs polymères. Elles vont conférer aux composés biologiques dont elles font partie des propriétés capitales.

*Les bases pyrimidiques : Elles sont formées d'un cycle hexagonal à 4 carbones et 2 azotes. Différents substituants viennent s'ajouter sur ce cycle. Les bases pyrimidiques sont au nombre de 3 : la cytosine, l'uracile et la thymine.

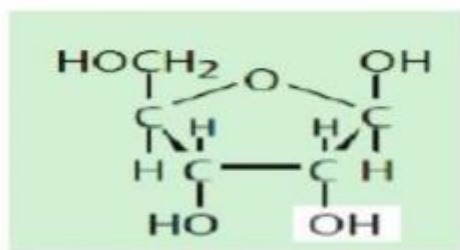


* Les bases puriques : Elles sont formées de l'accolement d'un cycle hexagonal à 4 carbones et 2 azotes et d'un cycle pentagonal à 3 carbones et 2 azotes. Différents substituants viennent s'ajouter sur ce cycle. Ces bases sont : l'adénine A et la guanine G.

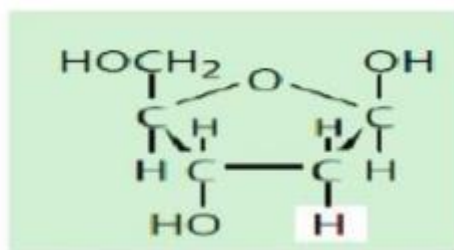


La pentose, il s'agit d'un sucre simple 5 carbones. On trouve deux types de pentoses dans les acides nucléiques. -Le ribose : il se trouve dans l'ARN, on numérote les

atomes de carbones du ribose avec des primes pour éviter la confusion avec les numéros des bases. -Le désoxyribose : il se trouve dans l'ADN. C'est un ribose dans lequel le OH en C2' est remplacé par un H.



β -D-Ribose



β -D-Deoxyribose

L'acide phosphorique est un triacide, l'une de ces fonctions sera estérifiée dans l'ADN et l'ARN.

IV- MORPHOLOGIE CELLULAIRE

La morphologie cellulaire correspond à l'étude de la forme, de la structure externe et interne des cellules. Elle permet de comprendre comment la cellule est organisée et comment sa structure détermine sa fonction.

La cellule animale a une forme régulière ou ronde avec une taille variable comprise entre 10 et 30 micromètre. Elle est souple grâce à l'absence de paroi rigide. La particularité de la cellule est qu'elle ne dispose de paroi cellulaire, les lysosomes bien développés, et la membrane plasmique est très dynamique.

La cellule végétale quant-à-elle, sa forme est généralement plus régulière et géométrique ; sa taille est souvent plus grande que celle de la cellule animale (10-100 micromètre). La particularité de la cellule végétale est qu'elle dispose d'une paroi rigide qui protège et maintient sa forme ; une vacuole centrale très développée qui joue un rôle dans la pression interne ; des chloroplastes qui permettent la photosynthèse ; les lysosomes ne sont pas bien distincts.

V- PHYSIOLOGIE CELLULAIRE

La physiologie cellulaire est une branche de la biologie qui étudie le fonctionnement des cellules, c'est-à-dire les processus qui se déroulent à l'intérieur des cellules pour leur permettre de vivre, de se développer, de communiquer et de répondre à leur environnement

1- Concepts clés en physiologie cellulaire

a- Echanges cellulaires

- Diffusion simple : mouvement passif des molécules de la zone de forte concentration vers la zone de faible concentration
- Diffusion facilitée : passages des molécules via des protéines membranaires
- Transport actif : transport nécessitant de l'énergie pour déplacer les molécules contre le gradient de concentration
- Endocytose et exocytose : processus d'entrée ou de sortie de grosses molécules par invagination ou évagination de la membrane

b- Signalisation cellulaire

- réception des signaux externes (hormones, neurotransmetteurs) par des récepteurs membranaires
- transmission du signal à l'intérieur de la cellule
- réponse adaptée (modification de l'expression génétique, activation enzymatique, modification du cytosquelette...)

Il existe encore d'autres phénomènes physiologiques tels que le métabolisme cellulaire, la division cellulaire et le processus de la respiration cellulaire que nous étayerons dans les pages suivantes.

VI- METABOLISME CELLULAIRE

Classiquement, le métabolisme est défini comme l'ensemble des réactions chimiques au sein d'un organisme. Ces réactions permettent la dégradation et la synthèse de molécules appartenant aux trois lignées glucidique, lipidique et protidique ainsi que l'extraction et l'utilisation d'énergie à partir de celles-ci. Le métabolisme constitue un réseau de réactions chimiques strictement coordonnées dans lequel les activités de chaque cellule répondent à ses besoins. Chaque activité se définit non seulement par l'ensemble des caractéristiques qui la délimite, ce qui pourrait tendre à l'isoler, mais surtout par les liens qu'elle entretient avec les autres activités présentes dans la cellule.

Sa fonction d'usinage à travers ses trois lignées glucidique, lipidique et protidique lui fait assurer un triple rôle.

a- Premier rôle : établissement de la structure

La structure réunit l'ensemble des cellules et des tissus édifiant l'organisme ainsi que la capacité fonctionnelle visant prioritairement à sa maintenance, tous ces éléments relevant du potentiel génétique. Cette importance de la structure envers la fonctionnalité comprend notamment :

- la capacité des molécules à se lier et à réagir avec d'autres : cette propriété, intimement liée à la structure moléculaire, est indispensable à l'exercice de la fonction biologique. Ces interactions chimiques sont particulièrement le fait des enzymes et des molécules-signal
- la compartimentation : elle permet d'assurer au niveau des tissus et des organes des fonctions distinctes, prenant ainsi modèle sur l'unité fondamentale de l'organisme, la cellule, où la délimitation est à la fois péri cellulaire par la membrane plasmique séparative des cellules entre elles, et intracellulaire par sectorisation des fonctions sous la forme des organites et du noyau, celui-ci caractérisant la cellule eucaryote ou cellule dont le génome est encapsulé dans un noyau ;
- les propriétés physiques des cellules comme des tissus : elles se manifestent en tant que force mécanique ainsi que flexibilité et fluidité, ce qui permet à certains tissus de fonctionner comme des pompes et des filtres.

b- Deuxième rôle : la fonctionnalité proprement dite

Elle est la mobilisation de cette structure et son implication dans le milieu où elle vit. La fonctionnalité œuvre au besoin par des réponses adaptatives de façon soit transitoire par le processus d'adaptation, soit durable par celui alors d'adaptabilité. Cette implication s'avère à double sens, car se joint au maintien de la structure par sa fonctionnalité le réciproque remodelage de la structure induit par la mobilisation fonctionnelle d'interactions avec l'environnement, ainsi source de possibles modifications de la délimitation structurale, ce dont témoigne l'épigénétique.

c- Troisième rôle : communication entre structure et fonctionnalité

L'intégration structure – fonction implique que cellules, tissus et organes communiquent entre eux sous la forme de signaux chimiques et électriques. Ces derniers représentent la part informationnelle du métabolisme où toute cellule, tissu, organe comme appareil sont à la fois récepteurs, intégrateurs et émetteurs d'informations. Pour l'endobiogénie, cette tripartition « structure – fonction – information » est fondamentale. Elle organise au sens

plénier du terme le vivant dont la permanente mouvance métabolique est l'aspect le plus visualisable.

1- Dualité catabolisme – anabolisme : aspect apparent du métabolisme

Le métabolisme peut être étudié selon sa dualité apparente, celle du catabolisme – anabolisme. Composée de deux fonctions apparemment inverses mais en réalité complémentaires, l'activation métabolique se manifeste sous cet aspect duel en conjuguant deux phases :

- l'une de mobilisation : le catabolisme qui regroupe les réactions de recrutement et de libération des éléments énergétiques et moléculaires ;
- l'autre de construction et/ou de reconstruction : l'anabolisme qui regroupe les réactions de synthèse moléculaire, consommatrices d'énergie.

Ces deux fonctions, intimement dépendantes l'une de l'autre, sont indissociables dans leur enchaînement : il ne peut y avoir d'anabolisme sans catabolisme et inversement. Ainsi, parmi maints exemples, celui du cycle du renouvellement osseux faisant alterner l'ostéoclasie mobilisatrice et l'ostéoblastie reconstructrice. Le rapport global catabolique/anabolique tend à l'équilibre dans l'organisme par la répartition simultanée de zones en catabolisme et d'autres en anabolisme. Dans cette dualité permanente :

- * la phase catabolique apparaît première en tant que préparatrice de la phase anabolique ;
- * le caractère second de la restauration anabolique témoigne de l'orientation permanente de l'organisme vers la restitution ad integrum. Cette recomposition est une activité fondamentale au sens plénier du terme, car témoignant de la constante volonté de maintien de la structure. Ce cycle catabolisme – anabolisme signifie en effet pour l'organisme une obligation de maintien par le renouvellement permanent de sa structure. Pour reprendre l'exemple du cycle du renouvellement osseux, ce qui est maintenu à travers le tissu osseux lui-même est la place de l'ensemble structuro-fonctionnel qu'il représente au sein du systémique¹ : ses modifications participent à la maintenance générale du cycle catabolisme – anabolisme, lequel tend vers l'équilibre. Un tel cycle accorde à tout tissu, osseux ou autre, un remodelage structuro-fonctionnel optimal afin qu'il puisse maintenir sa juste place au sein de l'ensemble organique. Il en est de même pour les métabolites² au rôle structuro-fonctionnel, tel le cholestérol.

Ce double aspect, l'un catabolique de mobilisation et de libération des éléments énergétiques et moléculaires, l'autre anabolique de synthèses moléculaires consommatrices d'énergie, reste cependant plus descriptif qu'explicatif, car il ne préjuge en rien des destinées chimiques et énergétiques qui ne sauraient se limiter à cette seule balance : c'est

en effet l'organisme lui-même qui va assurer, à travers l'apport brut de l'alimentation, la distribution sélective des rôles en une tripartition assurément plus complexe, car simultanément structurelle, fonctionnelle et informationnelle. Néanmoins, cette dualité reste la manifestation la plus immédiatement perceptible du métabolisme. Aussi, étant la plus simple à examiner, c'est par elle que débute son étude, les déterminants tripartiteurs, vu leurs diversités et surtout leurs interactions et intersections, faisant l'objet des chapitres suivants.

2- Dualité métabolique

La phase première, catabolique, conduit à la transformation des lignées glucidique, lipidique et protidique en une molécule à deux atomes de carbone, l'acétylcoenzyme A (acétyl-CoA), aboutissement commun de leur dégradation. Cette molécule est le point de départ de plusieurs voies anaboliques ainsi que de la libération énergétique en empruntant le cycle de l'acide citrique, dit de Krebs, lequel vise à séparer le carbone de l'hydrogène, le premier éliminé sous forme de dioxyde de carbone (CO_2), le second sous forme d'eau (H_2O). L'énergie ainsi libérée, à travers la chaîne respiratoire et ses oxydations phosphorylantes, conduit à la formation d'adénosine triphosphate (ATP), véritable monnaie énergétique de l'organisme

Cette monétarisation pourvoit les réactions chimiques en énergie, c'est-à-dire les rend capables d'élaborer les synthèses de l'anabolisme à partir des éléments de base fournis par la phase catabolique précédente. Extrêmement diverses, ces réactions construisent des ensembles chimiques relevant soit d'une seule lignée, soit d'une association des deux, voire des trois lignées glucidique, lipidique et protidique. De tels ensembles vont de deux molécules à plusieurs centaines sous des formes qui peuvent être alors très complexes. Le cycle catabolisme – anabolisme apparaît en tant que principe physique d'ordre, exprimé par le premier principe de la thermodynamique, à savoir la conservation de l'énergie, ou entropie : c'est celle-ci qui détermine si deux liquides sont miscibles, si des molécules choisissent l'état solide, liquide ou gazeux. Dans cette configuration où l'énergie maintient une valeur constante, rien n'entre ni ne sort si ce ne sont des conversions d'énergie d'un type en un autre, ce qui est le propre d'un système fermé. La valeur de ce cycle est d'équilibrer une balance selon un mode strictement binaire, car construit sur la seule opposition entre deux termes, chacun justifiant l'autre. Le métabolisme représente effectivement une telle confrontation

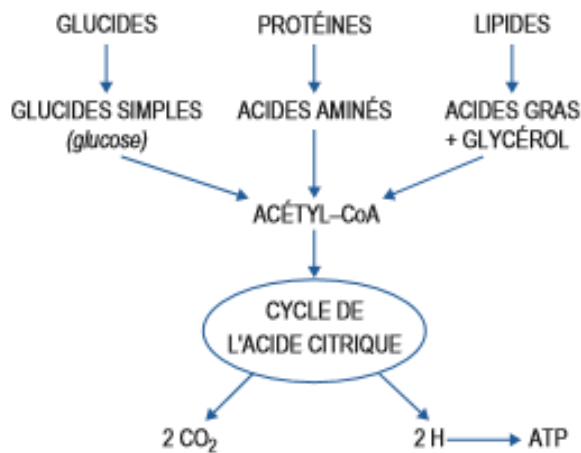


Fig : La fonction première du catabolisme : approvisionnement de l'organisme en énergie (ATP) nécessaire aux synthèses de l'anabolisme.

VII- PHENOMENES DE MEMBRANES

La membrane plasmique, dite aussi membrane cellulaire, membrane cytoplasmique ou plasmalemmе, est une membrane biologique de très faible épaisseur (75-90 Å) qui délimite la cellule. Elle a une structure similaire aux membranes des organites cellulaires et du système endomembranaire de la cellule.

Elle assure des échanges sélectifs de composés minéraux, organiques ou de particules de grande taille avec le milieu extracellulaire en mettant en jeu des protéiques transmembranaires, et sert de support de nombreuses activités catalytiques particulièrement dans les cellules photo-autotrophes et les membranes mitochondriales internes. La communication de la cellule s'effectue aussi via la membrane plasmique en impliquant des protéines en tant que récepteurs de signaux extérieurs que la cellule traduit en une réponse physiologique spécifique.

a- Structure de la membrane

Observée au microscope électronique, la membrane plasmique montre deux feuillets sombres, formant la bicouche phospholipidique visqueuse, séparées par un feuillet clair. Chaque molécule de phospholipide comprend une "tête" hydrophile (groupement phosphate) tournée vers l'extérieur et une "queue" (chaîne hydrocarbonée de glycérol et acides gras) hydrophobe tournée vers l'intérieur. Ces deux couches sont liées entre elles par des liaisons faibles entre les queues des molécules de lipides. Chez les archaebactéries

hyper thermophiles, les deux couches de lipides sont soudées par des liaisons fortes. Elles ne forment ainsi qu'une seule couche lipidique plus rigide

La bicouche lipidique est entrecoupée de protéines membranaires portant du côté extracellulaire des chaînes ramifiées ou non de glycanes, formant des glycoprotéines. Les chaînes glycanes peuvent s'associer avec des macromolécules de lipides, donnant des glycolipides tournés vers l'extérieur. Du côté cytoplasmique, les lipides et les protéines ne sont pas glycosylés.

La répartition inégale des lipides entre les deux monocouches de la membrane plasmique, exception faite pour le cholestérol, et l'arrangement irrégulier des protéines confèrent au système membranaire une double asymétrie, structurale et de la charge globale de chaque feuillet. D'autant plus, les lipides et les protéines ont l'habilité de se déplacer latéralement dans le plan de la bicouche membranaire. La rotation des lipides dans la membrane et leur basculement d'un feuillet membranaire à l'autre (phénomène dit de flipflop) sont possibles.

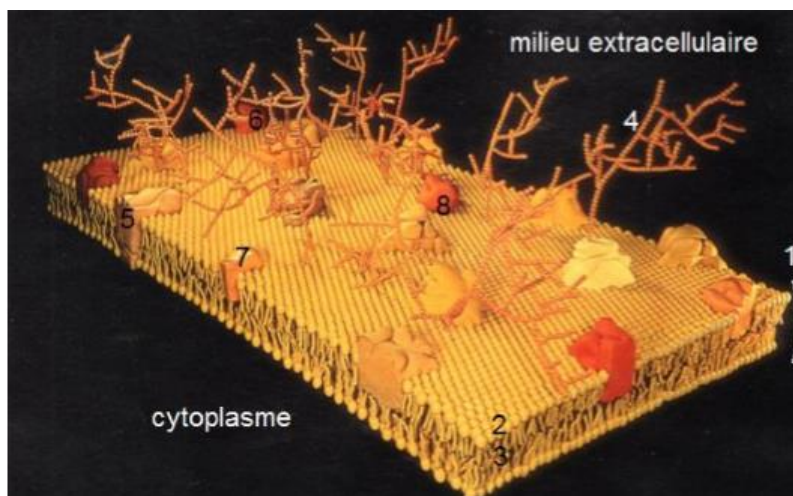


Figure 40. Image synthétique de la membrane cellulaire 1, bicouche phospholipidique ; 2, têtes hydrophiles ; 3, chaînes hydrophobes ; 4, glycoprotéine ; 5, protéine transmembranaire ; 6, protéine canal de transport ; 7, protéine périphérique ; 8, protéine de surface (Singer et Nicolson.,1972)

b- Composants majeurs

Excepté le cholestérol se trouvant dans des cellules animales, les membranes biologiques contiennent une phase lipidique constituée d'un nombre relativement limité de phospholipides et de glycolipides. Il existe deux types de phospholipides, les

sphingophospholipides constitués avec de la sphingosine (sérine + acide gras), un acide gras, un phosphate et un alcool azoté, et les glycérophospholipides formés de deux acides gras, une molécule de glycérol-3-phosphate et un alcool azoté. Le cholestérol est composé d'un noyau stéroïde (quatre cycles carbonés) hydrophobe portant un groupe alcool hydrophile. Il constitue de 30 à 45% des lipides membranaires.

Les constituants protéiques (protéines et glycoprotéiques) représentent environ 60% de la membrane plasmique et ont une diversité de structure à l'origine d'un certain nombre de fonctionnalités spécifiques de la cellule. Enchâssées ou non dans la bicouche lipidique, les protéines membranaires assurent plusieurs fonctions, dont des échanges intercellulaires, l'accrochage des cellules, la reconnaissance de substances diverses.... Les protéines transmembranaires sont stables, tandis que les protéines superficielles, intra- ou extracellulaires dépendent de liaisons hydrogènes, pouvant être défaits en fonction du milieu environnant.

Les glucides membranaires sont portés par les lipides (glycolipides) ou les protéines (glycoprotéines). Les glycoprotéines, majoritairement présentes dans la membrane plasmique, sont des protéines portant un ou plusieurs groupements oligosides, correspondant à des hétérosides fixés à la chaîne polypeptidique par des liaisons Nglycosidiques ou O-glycosidiques selon la nature de l'acide aminé (aa) impliqué. Les glycolipides sont des associations de simples hexoses ou d'oligosaccharides avec des fonctions hydroxyles de glycéroglycolipides ou de sphingolipides.

c- Perméabilité membranaire

La perméabilité de la membrane biologique aux molécules dissoutes dépend de leur lipo-solubilité, leur taille, leur charge électrique... Toutefois, la membrane cellulaire présente une barrière à la diffusion des ions et des molécules à masse moléculaire supérieure à 150 Da. Il existe trois types de pores protéiques intra-membranaires qui assurent le passage sélectif de ces molécules de grandes tailles :

- ◆ Transporteurs actifs primaires, appelés aussi pompes, correspondant à des enzymes qui utilisent l'énergie provenant de l'ATP et de la lumière pour faire traverser la membrane à des ions (en général des cations) et des solutés contre des gradients de concentration de part et d'autres des compartiments limités par la membrane, pouvant augmenter 100 000 fois.

- ◆ Transporteurs secondaires, dits aussi facilitateurs, fournissant des voies de transfert passif des solutés à travers les membranes le long de leurs propres gradients de

concentration d'un compartiment à concentration élevée à un compartiment à faible concentration. Chaque modification conformationnelle d'une protéine transporteur déplace un nombre limité de solutés à travers la membrane. Ils peuvent mobiliser des substrats contre leur gradient de concentration si cette mobilisation est couplée au transport d'un autre soluté le long d'un gradient électrochimique (pompes).

♦ Transporteurs passifs, ou canaux, sont des pores présentant une spécificité ionique qui s'ouvrent et se ferment de façon transitoire sous l'action d'un mécanisme de régulation, ou des pores ouvertes de façon constante ou constitutive.

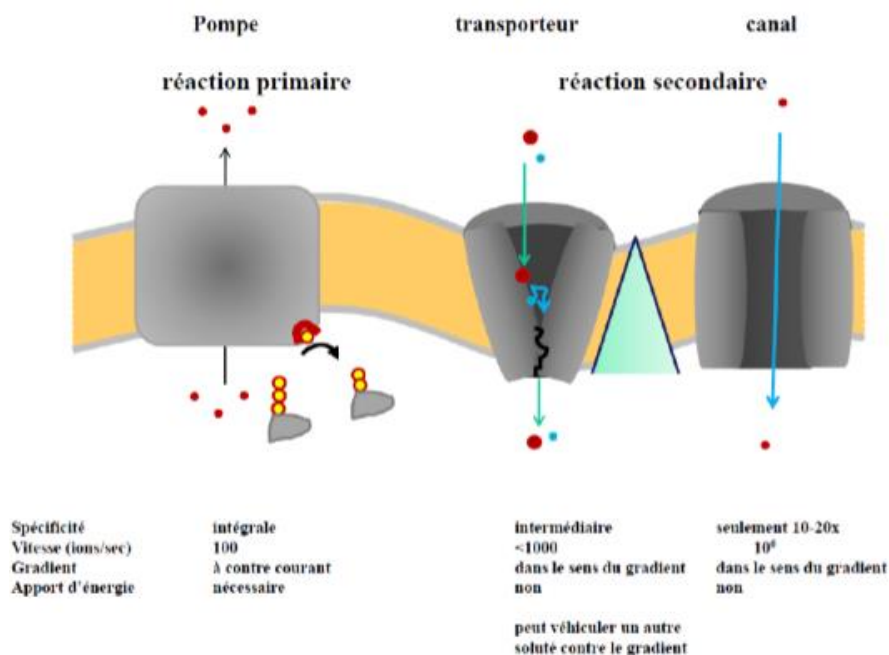


Figure. Types et caractéristiques de pores protéiques intra-membranaires

d- Endocytose et exocytose

L'endocytose et l'exocytose sont des voies d'échanges transmembranaires de substances (nutriments, toxines...) ne pouvant pas traverser librement le plasmalemmme, en impliquant des vésicules (Figure 43). Une vésicule est un petit organe creux en forme de sac, formée à base de composants de la membrane cellulaire et ayant un rôle de stockage et de transport des substances dans la cellule. L'endocytose et l'exocytose correspondent au transport de vésicules vers l'intérieur et l'extérieur de la cellule dans le même ordre.

Lors de l'exocytose, le contenu à faire sortir de la cellule se trouve dans une vésicule à l'intérieur de la cellule, qui après fusion avec la membrane cellulaire, s'ouvre dans le milieu extracellulaire (Figure 43, A). L'exocytose est plus abondante chez les cellules nerveuses, permettant la libération des neurotransmetteurs dans la fente

synaptique. Elle se produit aussi pour l'élimination de déchets et la libération d'hormones, enzymes...

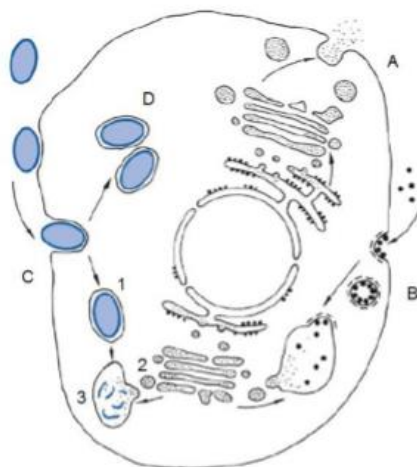


Figure. Echanges membranaires **A**, exocytose ; **B**, endocytose ; **C**, phagocytose ; **D**, endocytobiose. 1, phagosome ; 2, lysosome primaire ; 3, vacuole digestive (Joëlle *et al.*, 2006)

L'endocytose correspond à une déformation de la membrane cellulaire du côté interne pour envelopper les substances à faire pénétrer dans la cellule sous forme de vésicules. Selon la nature du contenu à faire entrer dans la cellule et le mécanisme mis en jeu, deux types d'endocytose peuvent être distingués, la phagocytose et la pinocytose.

La phagocytose est connue chez les cellules mobiles comme les macrophages et les polynucléaires neutrophiles. Faisant partie du système de défense de la cellule, elle est déclenchée par un récepteur de reconnaissance et le contenu à faire entrer dans la cellule (grosse molécule, organite ou cellule) est fixé, englobé par des pseudopodes membranaires, fusionné et transporté dans le cytoplasme vers les lysosomes. Les phagosomes, vésicules formées à la suite de la phagocytose ou cellule proie, peuvent fusionner avec les lysosomes primaires (LI) pour former des vacuoles digestives, où le contenu vésiculaire est dégradé. Les cellules proie peuvent former des endocytobioses stables dans la cellule hôte en tant que symbiote ou parasite, pouvant se multiplier en son sein.

La pinocytose concerne certains solutés et liquides ne pouvant pas être absorbés par diffusion. Le contenu à faire entrer dans la cellule est enclavé dans une vésicule suite à une invagination qui se creuse dans la membrane cellulaire. Les voies de pinocytose diffèrent selon les protéines et les médiateurs impliqués, soient la pinocytose indépendante de la clathrine, regroupant plusieurs voies impliquant des enzymes et protéines telles les

cavéolines, la tyrosine kinase, les pinocytoses Arf6 ou flotilline dépendant... et la pinocytose dépendant de la clathrine. L'endocytose dépendante de la clathrine sert pour des fins d'assimilation (fer ou cholestérol) des cellules eucaryotes, ou de détoxification du milieu extracellulaire. Les protéines nouvellement internalisées par ces voies d'endocytose multiples, ayant atteint l'endosome précoce ou de tri, sont adressées vers la dégradation lysosomale ou vers la membrane plasmique pour recyclage.

VIII- MECANISMES CELLULAIRES DE LA REPRODUCTION

A- MITOSE

A partir d'un zygote issu de la fécondation, un individu se construit et forme un organisme souvent constitué de milliards de cellules pour les êtres les plus évolués. Le cycle cellulaire est divisé en plusieurs phases :

-L'interphase : Lorsque la cellule ne se divise pas, elle est dite en interphase, avec un noyau bien délimité par une enveloppe nucléaire, la cellule transcrit ses gènes et les chromosomes sont dupliqués. Elle peut être subdivisée en plusieurs phases :

✓ **La phase G1**: au cours de laquelle la cellule croît et effectue les fonctions pour lesquelles elle est programmée génétiquement: biosynthèse des protéines, etc. C'est notamment durant cette phase que les jeunes cellules filles fraîchement divisées grandissent jusqu'à atteindre leur taille finale.

✓ **La phase S**: au cours de laquelle le matériel chromosomique est doublé par réplication de l'ADN grâce à des ADN polymérases. C'est ce qu'on appelle la duplication des chromosomes. La quantité d'ADN est donc doublée. À la fin de la phase S, chaque molécule d'ADN est représentée en double exemplaire correspondant aux deux chromatides filles du chromosome mitotique. Il y a aussi pendant cette phase, la synthèse des protéines dans le cytosol, en particulier des histones qui seront associées à l'ADN.

✓ **La phase G2**: À l'issue de cette phase, chaque chromosome est parfaitement identique à son homologue sur le plan morphologique et du point de vue des gènes présents.

-La mitose proprement dite

- **La prophase** : Lors de cette phase, le matériel génétique (ADN), qui est présent dans le noyau sous la forme de chromatine se condense en structures appelées chromosomes. Comme le matériel génétique a été dupliqué avant le début de la mitose, les chromosomes sont donc constitués de deux chromatides sœurs portant toutes les deux la même

information génétique. Les deux chromatides d'un même chromosome sont reliées au niveau de la région centromérique. Une protéine nommée cohésine joue le rôle de colle et unit les deux chromatides d'un même chromosome.

- Les microtubules se réorganisent pour former le fuseau mitotique.

- L'enveloppe nucléaire se désagrège sous forme de vésicules.

- Des complexes protéiques spécialisés : les kinétochores, se forment au niveau des centromères. Certains microtubules s'accrochent aux kinétochores. Ils seront alors appelés microtubules kinétochoriens. Petit à petit chaque chromosome voit chacune de ses chromatides reliée à un pôle par l'intermédiaire des microtubules. Ceux-ci exerçant des tensions, les chromosomes ont alors des mouvements agités.

-La métaphase : C'est le rassemblement des chromosomes condensés à l'équateur de la cellule, pour former la plaque métaphasique (ou équatoriale). Les tensions subies par chacun des kinétochores d'un chromosome s'équilibrent progressivement et ceux-ci s'alignent dans un plan situé à mi-chemin des deux pôles. On observe que les chromosomes sont alignés selon leur centromère. On pense que les kinétochores non accrochés aux microtubules génèrent un signal pour empêcher l'étape prématurée de l'anaphase sans les chromosomes tous alignés.

-L'anaphase : est une phase très rapide de la mitose où les chromatides se séparent et migrent vers les pôles opposés de la cellule. Les fils chromosomiques sur lesquels étaient accrochés les centromères des cellules se détachent et les chromatides se déplacent chacune vers un pôle de la cellule.

-La télophase et cytodierèse: Durant cette période :

- Les microtubules kinétochoriens disparaissent.

- Les chromatides sœurs commencent à se décondenser.

- L'enveloppe nucléaire ainsi que les nucléoles commencent à se reformer.

Chez la cellule végétale, la cytodierèse se réalise par la construction d'une nouvelle paroi, phragmoplaste appelé plus simplement corps intermédiaire entre les deux cellules filles. Cette nouvelle paroi se développe de manière centrifuge : des vésicules golgiennes contenant de la propectine s'accumulent du centre de la cellule vers la périphérie, puis ces vésicules fusionnent pour former le phragmoplaste qui se raccorde à la paroi primaire de la cellule mère, provoquant sa division en deux cellules filles. La paroi primaire et la membrane des deux cellules filles se reforment alors au niveau de cette séparation et le phragmoplaste se différencie en lamelle moyenne.

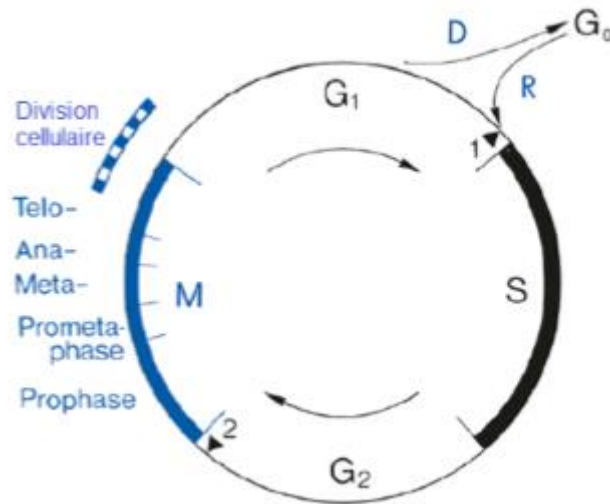


Figure . Ordre des phases du cycle cellulaire **M**, mitose ; **G1**, phase de croissance postmitotique ; **D**, différenciation en cellules tissulaires dont l'ADN reste non répliqué (G_0) ; **R**, réembryonnisation, par ex. lors de la régénération ; **S**, réplication de l'ADN ; **G2**, phase pré-mitotique ; têtes de flèches 1 et 2, points de contrôle (Joëlle *et al.*,2006)

B- MEIOSE

La méiose prend place dans les cellules (diploïdes) de la lignée germinale pour former les gamètes (haploïdes).

a- Première division méiotique : division réductionnelle

Prophase I

L'enveloppe nucléaire disparaît. Les chromosomes bichromatidiens s'individualisent par condensation de leur ADN à partir de la chromatine du noyau. Ils s'associent ensuite par paires de chromosomes homologues. Cet appariement donne des tétrades (car 4 chromatides) aussi appelées bivalents (car $2n$ chromosomes homologues).

Métaphase I

Les paires de chromosomes homologues (bivalents) se placent en vis-à-vis de part et d'autre de la plaque équatoriale.

Anaphase I

La contraction de la fibre du fuseau achromatique entraîne la disjonction des deux chromosomes homologues de chaque paire et migrent aux pôles opposés, tirés par des microtubules kinétochoriens. Ainsi, en méiose, les chromatides homologues restent attachées au lieu de se séparer comme en mitose.

Télophase I et Cytodiérèse I

On observe une disparition du fuseau mitotique créée en métaphase, puis une séparation et individualisation en 2 cellules par cytotéière.

b- Deuxième division méiotique : division équationnelle

Chaque chromosome étant resté dupliqué (n chromosomes à 2 chromatides), il n'y a pas de réplication de l'ADN et la division se déroule immédiatement. Cette division consiste en une simple mitose classique : pour chaque cellule, on passe de n chromosomes doubles à deux cellules à n chromosomes simples.

Prophase II : Phase identique à la prophase I mais brève car les chromosomes sont restés compactés.

Métaphase II : Les chromosomes se placent sur la plaque métaphasique par leur centromère. Leur condensation est maximale. Durant cette phase, les microtubules se fixent aux kinétochores.

Anaphase II : Les chromatides sœurs de chaque chromosome se séparent après rupture de leur centromère et migrent vers les pôles opposés de la cellule.

Télophase II : Les quatre cellules haploïdes issues de la méiose possèdent n chromosomes simples.

IX- DIFFERENCIATION CELLULAIRE

On appelle cellules souches des cellules indifférenciées capables de s'auto-renouveler, de se multiplier à l'infini et de se différencier en des cellules spécialisées. Ce sont en quelques sortes les « cellules mères » de toutes les autres cellules. Au tout début de la vie, elles permettent de développement complet d'un être humain puis tout au long de la vie, elles permettent telle une réserve naturelle, de reconstituer nos stocks de cellules spécialisées. Ces cellules souches sont naturellement présentes chez l'embryon et dans certains organes ou tissus adultes.

Selon leur origine et leur potentiel de différenciation, on distingue 3 types de cellules souches.

- Les **cellules souches totipotentes** : Ces cellules souches sont issues des toutes premières divisions de l'œuf fécondé (entre la fécondation et le quatrième jour). Elles peuvent se différencier en tous types de cellules de l'organisme et en annexes (placenta, cordon ombilical). Ce sont les seules cellules souches pouvant donner naissance à un embryon capable de s'implanter dans l'utérus et se développer.

- Les **cellules souches pluripotentes** : elles sont issues d'un embryon de 5 à 7 jour suivant une fécondation in vitro (FIV). Elles peuvent donner naissance à plus de 200 types

de cellules représentatifs de tous les tissus de l'organisme. Ces cellules souches embryonnaires sont prélevées sur des embryons surnuméraires obtenus par FIV pour un projet parental, et dont les parents ont signé un consentement pour céder gratuitement l'embryon à la recherche. A ce stade de développement, l'embryon à la forme d'une petite bulle contenant une autre petite bulle. C'est dans cette masse cellulaire interne (MCI=embryoblaste) que se trouve la trentaine de cellules pluripotentes qui donneront toutes les cellules de l'organisme. Ces cellules sont prélevées et placées en culture où elles vont alors se multiplier et, selon leur milieu de culture, se différencier en tel ou tel type de cellules spécialisées : cellules sanguines, cellules du cerveau, cellules du foie, etc.

- **Les cellules souches multipotentes** : Issues de tissus fœtaux ou adultes, elles peuvent donner naissance à un ou plusieurs types cellulaires. Elles participent chez l'adulte au renouvellement des tissus. les cellules souches mésenchymateuses (CSM). Il s'agit de cellules souches adultes présentes dans tout l'organisme au sein du tissu adipeux, de la moelle osseuse, des tissus de soutien des organes, des os, des cartilages, des muscles et pouvant donner naissance à des cellules cartilagineuses, osseuses, graisseuses, à des fibres musculaires, etc
- **Les cellules souches unipotentes** : Issues de tissus adultes, elles ne peuvent donner naissance qu'à un type de cellule. Elles participent également au renouvellement de tous nos tissus.
- **Les cellules souches pluripotentes induites** : ce sont des cellules souches adultes qui ont été reprogrammées génétiquement pour avoir les caractéristiques des cellules souches embryonnaires.

X- L'AUTOCONSERVATION ET L'AUTOREGULATION

Les cellules embryonnaires souches (cellules ES) dérivent du bouton embryonnaire qui, avec le trophoblaste, forme le blastocyste pré-implantatoire. Les cellules ES possèdent trois caractéristiques qui les différencient fondamentalement de tous les autres types cellulaires de l'organisme embryonnaire, fœtal ou adulte

- elles sont pluripotentes, c'est-à-dire qu'elles sont capables de se différencier dans tous les types cellulaires composant l'organisme adulte, et elles contribuent également à la formation de certains tissus extra-embryonnaires
- elles possèdent une activité télomérase élevée et peuvent proliférer de façon infinie sans perdre leurs potentialités de différenciation

- elles possèdent un caractère tumoral, c'est-à-dire qu'elles sont capables de former des tératocarcinomes lorsqu'elles sont isolées du contexte embryonnaire.

a- La voie de signalisation LIF/GP130 contrôle l'équilibre autorenewement-différenciation des cellules es

Les cellules ES requièrent une cytokine, le LIF (Leukemia Inhibitory Factor) pour se maintenir en autorenewement . La fixation du LIF provoque l'hétérodimérisation du récepteur LIFR β puis le recrutement de kinases de type JAK qui phosphorylent et activent le facteur de transcription STAT3 qui contraint la cellule ES à s'autorenewer. Ainsi, l'activation du facteur STAT3 est nécessaire et suffisante pour assurer l'autorenewement des cellules ES.

L'hétérodimérisation du récepteur LIFR β avec le transducteur gp 130 induit également le recrutement de la tyrosine-phosphatase SHP-2, la phosphorylation par les kinases JAK et l'activation des protéines ERK1 et ERK2 . Cependant, cette deuxième voie de transduction dépendante de gp 130 n'est pas nécessaire à la croissance et à l'autorenewement des cellules ES. Au contraire, elle stimule leur différenciation. Une régulation très fine de ces deux voies effectrices permet aux cellules ES de contrôler l'équilibre autorenewement-différenciation

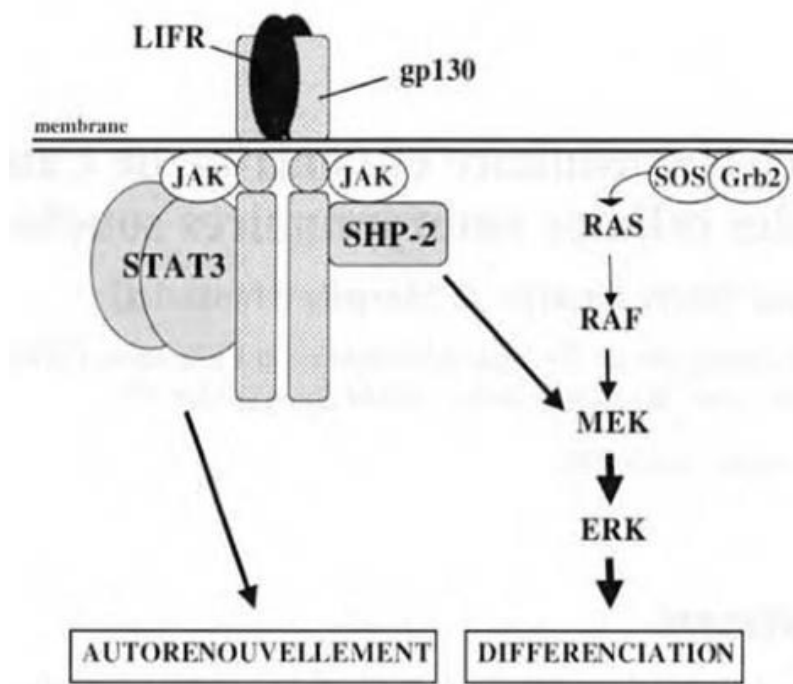


Fig : représentation schématique de la voie de transduction LIFR/ gp130 dans les cellules ES (Niwa *et al.*, 1998)

XI- MODES DE REPRODUCTION

Le sexe et la reproduction sont deux processus distincts et qui peuvent être séparés :

- La reproduction consiste en la création de nouveaux individus ;
- Le sexe consiste en la combinaison de gènes de deux individus différents en un nouvel arrangement.

La reproduction, est l'action par laquelle les êtres vivants se multiplient. Elle permet d'obtenir de nouveaux individus afin d'assurer la pérennité de l'espèce. « La fonction génératrice est en même temps placée à la base et au sommet de l'édifice biologique...c'est grâce à elle que la vie se recommence perpétuellement, que l'espèce est contenue dans l'individu, l'infini dans le fini »

On distingue deux modes de reproduction : la reproduction sexuée et la reproduction asexuée :

1- La reproduction sexuée

Elle est connue chez les végétaux, les bactéries (conjugaison), les unicellulaires et les pluricellulaires. Elle nécessite un mâle et une femelle appartenant à la même espèce. Les cellules sexuelles sont des cellules spécialisées appelées gamètes.

L'union des cellules reproductrices mâle et femelle a lieu :

- Dans le milieu : fécondation externe (fucus, oursin, truite).
- Dans l'organisme : fécondation interne (cerf, poule).

Chez les plantes à fleurs (le lys), le pollen produit un tube pollinique qui s'enfonce dans le pistil et conduit les cellules reproductrices mâles jusqu'à l'ovule.

La reproduction sexuée implique une fécondation : l'union d'un gamète mâle (spermatozoïde) avec le gamète femelle (ovule). Il en résulte la formation d'une cellule œuf à partir de laquelle un nouvel individu est obtenu. Il s'agit d'une fécondation interne et donc, d'un accouplement.

La formation des gamètes dont l'étape essentielle est la méiose qui est une série de deux divisions cellulaires est suivie d'une fécondation qui est une fusion cellulaire.

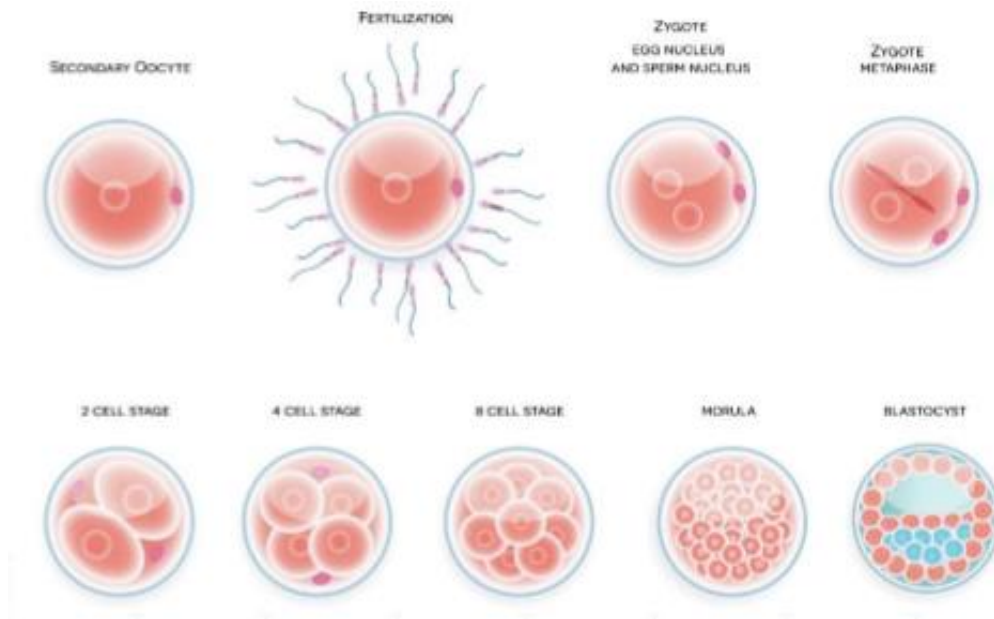


Fig : segmentation de l'œuf (Shier et al., 2021)

1-1 Types de reproduction

a- Les ovipares

Chez les ovipares, la cellule-œuf est émise dans le milieu extérieur et le développement de l'embryon se fait dans un œuf. Le plus souvent, les œufs sont pondus et abandonnés.



Figure 4 : L'œuf d'une tortue.

Parfois, ils sont enterrés ou cachés afin de les préserver des prédateurs. Il existe différents systèmes de protection de l'embryon en cours de formation :

- ☐ Une gangue gélatineuse, par exemple chez les amphibiens.
- ☐ Une enveloppe plus ou moins souple, chez les insectes ou invertébrés.
- ☐ Une coquille à base de calcaire qui peut rester souple (reptiles) ou être rigide (oiseaux).

La nutrition de l'embryon est assurée par des réserves stockées au préalable dans la cellule-œuf. Par exemple, dans l'œuf de poule, « le jaune » est la cellule-œuf gorgée de réserves nutritives.

b- Les vivipares

Chez les vivipares, la cellule-œuf se développe dans les voies génitales de la mère. L'embryon va s'implanter et se développer dans l'utérus. C'est le cas des mammifères.

La nutrition de l'embryon est assurée par des échanges entre le sang de la mère et celui de l'embryon. Hormis le cas des mammifères de type marsupiaux (avec poche ventrale comme les kangourous), ces échanges se font grâce à un organe embryonnaire : le placenta.



Fig : Fœtus chihuahua et son placenta in-utéro(le plus petit chien)

c- Les ovovivipares

Certains animaux sont dits ovovivipares car les œufs sont conservés et éclosent dans le corps de la femelle et les petits naissent donc directement. Quelques poissons (les guppys) ou certains reptiles (comme la vipère) pratiquent ce mode reproductif qui augmente les chances de survie de l'espèce par la protection assurée aux œufs. L'embryon puise dans les réserves nutritives initialement stockées dans la cellule-œuf et n'entretient aucun échange avec l'organisme maternel.

2- La reproduction asexuée

Encore appelée reproduction végétative, la reproduction asexuée correspond à une simple multiplication cellulaire. On obtient un clone de cellules qui se ressemblent sur tous les points. Elle se déroule sans fécondation et il n'y a pas d'intervention des cellules reproductrices.

Dans ce mode de reproduction, les descendants sont identiques sur le plan génétique, aussi bien entre eux qu'avec leur unique parent, tandis que la reproduction sexuée produit des individus différents génétiquement, tant entre eux qu'avec leurs parents.

Ce mode de reproduction est moins répandu chez les animaux que chez les végétaux mais on le trouve néanmoins dans des groupes variés où il coexiste, le plus souvent, avec un mode de reproduction sexuée. C'est notamment le cas chez les hydres d'eau douce, les coraux, certaines méduses et anémones de mer, certains vers et certains insectes. En outre, certains animaux sont capables de régénérer un membre amputé, comme les crabes et les tritons, voire une grande partie du corps, comme les vers de terre.

Enfin, il peut y avoir fragmentation du ou des embryons (polyembryonie) ce qui aboutit à la formation de plusieurs individus identiques génétiquement alors que l'embryon d'origine résulte de la reproduction sexuée. C'est ce phénomène qui est à l'origine des vrais jumeaux ou jumeaux monozygotes dans l'espèce humaine.

La reproduction asexuée des animaux revêt diverses modalités. Il peut s'agir du bourgeonnement de nouveaux individus à partir de l'organisme parental, comme chez l'hydre et chez certaines méduses. Lorsque les nouveaux individus restent unis à l'organisme d'origine, il se forme une colonie, comme chez les coraux.

La reproduction asexuée peut aussi résulter du fractionnement de l'organisme en plusieurs parties, comme chez certains vers et chez l'anémone de mer.

La parthénogenèse constitue un cas à part. Le terme de parthénogenèse vient du grec parthenos = vierge : elle constitue un mode de reproduction indépendant de la fécondation et donc du spermatozoïde. Le développement parthénogénétique se rencontre en particulier dans l'embranchement des Arthropodes (Insectes notamment), mais aussi chez certains Lézards et chez le Dindon.

Cette modalité est originale car, bien qu'asexuée, elle nécessite des cellules reproductrices. En effet, dans la parthénogenèse, une cellule reproductrice femelle se développe en un nouvel individu sans avoir été fécondée. Par exemple, chez les abeilles, la parthénogenèse est le seul mécanisme de production des mâles, appelés faux-bourçons, alors que les femelles, ouvrières ou reines, résultent de la reproduction sexuée entre la reine et les mâles (chez les abeilles, les reines sont les seules femelles à acquérir la capacité à se reproduire et donc à pondre des œufs).

BIOLOGIE GENERALE II

I- LES COMPOSES IMPORTANTS EN BIOLOGIE : PROPRIETES DES ENZYLES ET ACTIVITES ENZYMATIQUES

Les enzymes molécules de nature protéique, catalyseurs des systèmes biologiques, sont de remarquables machines moléculaires qui déterminent le profil de certaines transformations chimiques. Elles assurent aussi la transformation d'une forme d'énergie en une autre. Environ, un quart des gènes du génome humain code pour des enzymes, ce qui témoigne de leur importance pour la vie.

Les enzymes peuvent être répartis en deux groupes :

-Enzymes extracellulaires(ou exoenzymes) : elles sont synthétisées à l'intérieur de la cellule, puis sécrétées dans l'espace extracellulaire.

-Enzymes intracellulaires(ou endoenzymes): elles sont synthétisées et utilisées entièrement à l'intérieur de la cellule où elles sont généralement liées à des particules subcellulaires ou membranes intracellulaires rendant leur extraction plus difficile.

1- Les enzymes sont des catalyseurs

C'est une réaction chimique qui se déroule dans la cellule ou le milieu cellulaire, en présence d'un catalyseur biologique (biocatalyseur), l'enzyme. On écrira une réaction enzymatique de la manière suivante :



Il existe essentiellement deux grands types de réactions biochimiques :

- Les réactions de dégradation de la matière organique (catabolisme).
- Les réactions de synthèse de la matière organique (anabolisme).

Substrat : C'est une molécule transformée au cours d'une réaction chimique.

Produit : Dans une réaction enzymatique est la molécule résultante de la transformation d'un substrat au cours de cette réaction



Fig. Une réaction enzymatique d'après V. Henri, L. Michaelis et M. Menten.

2-Site actif

La fonction des enzymes est liée à la présence dans leur structure d'un site particulier appelé le site actif. Schématiquement, il a la forme d'une cavité ou d'un sillon dans lequel vont se fixer les substrats grâce à plusieurs liaisons chimiques faibles. Une fois fixés, les substrats vont agir et se transformer en produits

Le site actif est subdivisé en deux parties :

- Le site de liaison /fixation/reconnaissance : il reconnaît la complémentarité de forme avec un substrat spécifique à l'enzyme.
- Le site catalytique ; il permet la réaction transformant le substrat en produit.

3- Propriétés des enzymes

- ❖ Les enzymes modifient la réaction en accélérant sa vitesse. Elles accélèrent les réactions chimiques dans les systèmes biologiques d'un facteur 10⁶ au minimum.
- ❖ L'enzyme agit à concentration très faible
- ❖ l'enzyme ne figure pas quantitativement parmi les produits de la réaction. Chaque molécule peut catalyser un nombre illimité de réaction.
- ❖ L'enzyme ne modifie pas la nature de la réaction ni son équilibre ni son état thermodynamique, elle modifie la réaction en accélérant sa vitesse.
- ❖ Les enzymes abaissent l'énergie libre d'activation du substrat

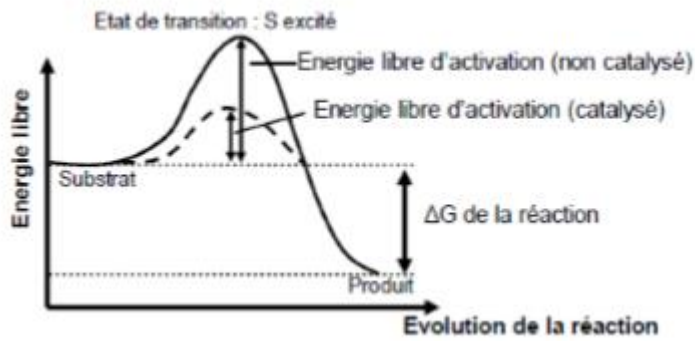


Fig : Energie d'activation avec et sans enzyme.

❖ Les enzymes sont des catalyseurs spécifiques, c'est-à-dire qu'en fonction de leur nature, elles n'agissent que sur des composés moléculaires bien précis. Par exemple : les amylases n'agissent que sur les amidons, les protéases n'agissent que sur des protéines.

Toutes les réactions sont contrôlées par une enzyme particulière spécifique de la réaction et souvent de la molécule qui en est le siège. On distingue différents aspects de la spécificité.

II- CELLULE PROCARYOTE

Ces formes cellulaires (bactéries, cyanophycées) présentent des structures plus simples que les cellules eucaryotes et ne possèdent pas de véritable noyau. C'est pourquoi on les appelle « procaryotes ». Les procaryotes mènent toujours une vie indépendante, même s'ils forment des colonies regroupant plusieurs millions d'individus, capables d'échanges entre eux. Dans des conditions favorables, une unique cellule procaryote initiale peut se multiplier, et être à l'origine d'une colonie qui comptera au bout de 12 heures une dizaine de milliards de cellules.

Les bactéries sont de petites cellules (0,2 à 3 micromètre de diamètre en moyenne) limitées par une membrane plasmique qui est généralement doublée par une enveloppe externe plus ou moins rigide, la paroi cellulaire, constituée de peptidoglycanes (complexes de protéines et d'oligosaccharides) qui confère à la cellule sa rigidité et sa forme. Certaines bactéries sont en plus entourées extérieurement d'une capsule protectrice, composée d'une couche lipo-polysaccharidique.

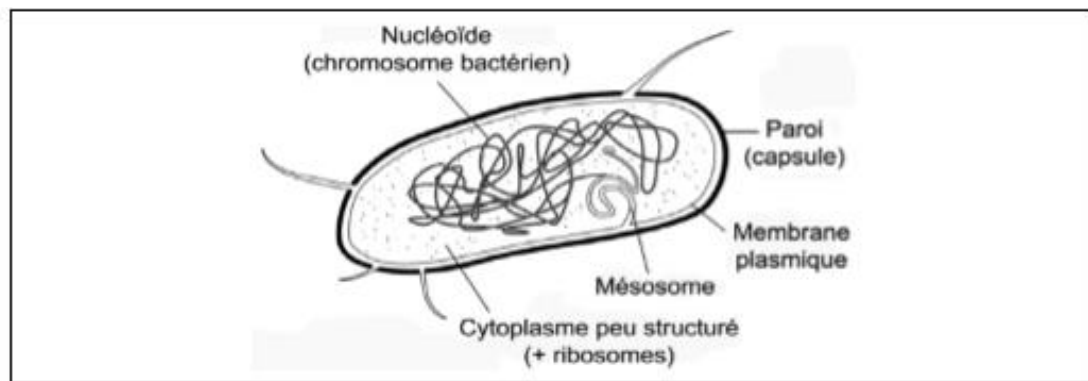


Fig : Bactérie (Escherichia coli).

La membrane plasmique est riche en systèmes enzymatiques impliqués dans le métabolisme producteur d'énergie (respiration cellulaire). Ainsi, outre un rôle classique de frontière entre milieux cellulaire et extracellulaire, elle a un rôle dans le métabolisme énergétique qui peut être comparé à celui des mitochondries des cellules eucaryotes.

Il existe un chromosome bactérien unique, le nucléoïde, formé par une molécule circulaire d'ADN, au contact direct du cytoplasme. Le nucléoïde est souvent attaché à une dépression de la membrane plasmique, le mésosoma. Des éléments génétiques extra chromosomiques, les plasmides peuvent aussi porter certaines instructions. Le cytoplasme contient des ribosomes (20 000 à 30 000 par cellule), mais il ne renferme pas les autres organites membranaires observés chez les eucaryotes. Certains procaryotes sont dotés de flagelles, pour se déplacer, ou de pili, pour faciliter l'adhésion et/ou des échanges avec d'autres cellules.

III- CELLULE EUCARYOTE

Elle se rencontre chez les animaux et les vertébrés supérieurs. C'est le type de cellule dont la taille est la plus grande (de 2 à 100 micromètre) et l'organisation la plus complexe. En interphase, période caractérisée par un métabolisme particulièrement actif, la cellule eucaryote présente des structures significatives. La cellule eucaryote est limitée par une membrane biologique, la membrane plasmique, qui la sépare de son environnement et qui assure les échanges avec le milieu extérieur. L'intérieur de la cellule est compartimenté par des systèmes membranaires qui définissent différents types d'organites. Le volume cellulaire est structuré par un réseau complexe de molécules protéiques qui forme le cytosquelette (on parle quelquefois de cytomotosquelette).

Un compartiment majeur de la cellule eucaryote interphasique est le noyau, séparé du reste de la cellule, le cytoplasme, par l'enveloppe nucléaire. L'existence d'un noyau est caractéristique de la cellule eucaryote (eucaryote signifie : « qui possède un véritable noyau »).

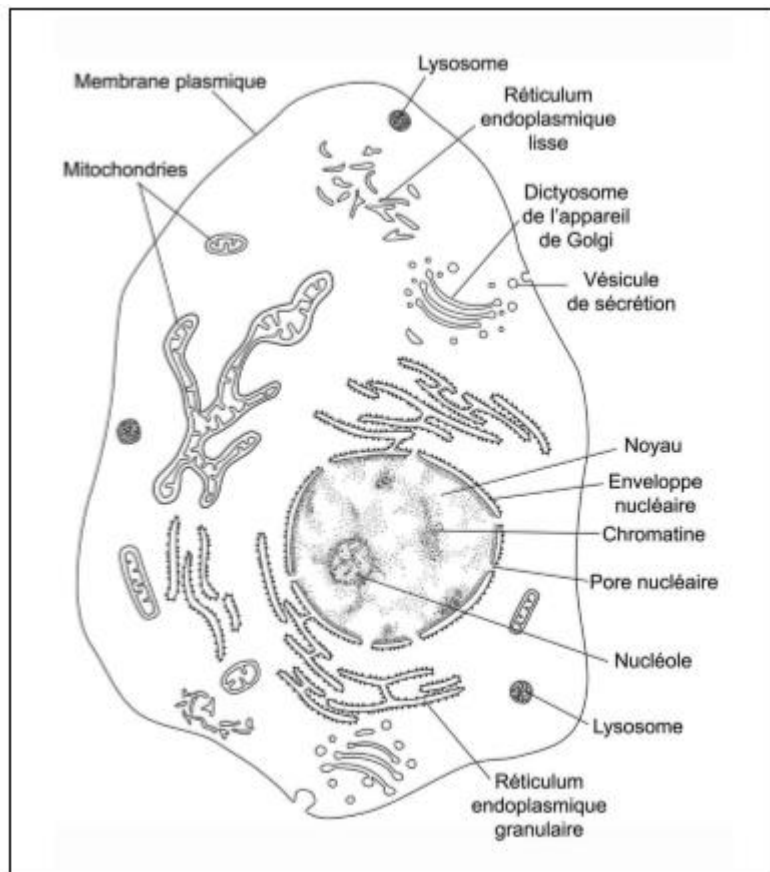


Fig : Ultrastructure d'un archétype de cellule eucaryote en interphase (Collectif 2020, SVT terminale).

L'organisation des cellules eucaryote est complexe mais un archétype cellulaire comporte au moins les structures suivantes :

- Noyau : il est délimité par l'enveloppe nucléaire, composée de deux membranes biologiques percées de pores qui permettent les échanges avec le cytoplasme. Le volume nucléaire est structuré par le nucléosquelette (ou matrice nucléaire). Le noyau contient un réseau de molécules linéaires d'ADN de 108 pb en moyenne, associées à des protéines, et qui forment les chromosomes dont l'ensemble forme la chromatine. Il renferme également un ou plusieurs nucléoles riches en ribonucléoprotéines (ARN+protéines). Le noyau est le lieu du stockage et de la réplication de l'ADN, de la transcription et de la maturation des ARN. L'essentiel du programme génétique de la cellule est porté par les chromosomes nucléaires. Les échanges entre le noyau et le cytoplasme sont contrôlés au niveau des

complexes de pores de l'enveloppe nucléaire, associés à des éléments du nucléosquelette et du cytosquelette.

- Cytoplasme : le cytoplasme représente un ensemble complexe compartimenté en organites, structuré par le cytosquelette, et délimité par la membrane plasmique. Le milieu intérieur de la cellule, la substance fondamentale du cytoplasme, est le hyaloplasme (on parle également de cytosol ou de cytogel, en fonction de son état, plus ou moins liquide ou visqueux). De nombreuses réactions du métabolisme s'y déroulent. Il est sous-tendu par une armature de molécules protéiques formant le cytosquelette, qui a un rôle de soutien, qui organise l'espace cellulaire et qui est impliquée dans les transports intracellulaires et plus généralement dans les mécanismes liés à la motilité de la cellule.

Un vaste réseau membranaire, le réticulum endoplasmique, impliqué dans les fonctions de synthèse et de transport s'y ramifie. On distingue le réticulum endoplasmique lisse (R.E.L), siège du métabolisme lipidique, et le réticulum endoplasmique granulaire (R.E.G) où les membranes sont associées à des particules denses, les ribosomes, qui jouent un rôle essentiel dans la synthèse des protéines.

L'appareil de Golgi forme un second réseau intra cytoplasmique, constitué par un ensemble d'organites membranaires, les dictyosomes, qui participent aussi à diverses activités de synthèse, de transport, de transformation (glycosylation) et de triage. De petites vésicules membranaires, les lysosomes, renfermant de nombreuses enzymes lytiques (hydrolases), exercent leur fonction dans le cadre du catabolisme (digestion cellulaire). D'autres vésicules membranaires, les péroxysomes, contiennent des enzymes permettant l'oxydation de nombreuses molécules organiques.

Un troisième réseau intracytoplasmique correspond au chondriome, qui peut se fragmenter en un ensemble d'organites particuliers, les mitochondries. Les mitochondries sont le siège des phénomènes de la respiration cellulaire, génératrice de l'énergie chimique nécessaire à l'accomplissement des diverses fonctions métaboliques.

Dans les cellules de végétaux verts on observe aussi les chloroplastes où s'effectue la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique. Les mitochondries et les chloroplastes renferment de l'ADN ; ces organites détiennent donc une petite partie de l'information génétique de la cellule, dont l'essentiel se trouve stocké dans le noyau

Les cellules eucaryotes peuvent mener une vie indépendante, c'est le cas des levures et des protozoaires. Celles-ci doivent donc assurer toutes les fonctions vitales (se nourrir, intégrer et réagir aux variations du milieu, proliférer, ...). Ces cellules sont donc relativement autonomes mais elles dépendent la plupart du temps des autres cellules (rares

sont les cellules ne prélevant que dans le milieu des composés exclusivement inorganiques). Il peut donc exister une interdépendance cellulaire, même pour les êtres unicellulaires. Elles peuvent aussi s'associer en colonies (Gonium), en groupes plus ou moins organisés (Volvox), ou encore former des organismes pluricellulaires.

Au sein d'un organisme pluricellulaire comme l'organisme humain, environ cent mille milliards de cellules (de 10^{13} à 10^{15}) sont associées pour former des tissus et des organes. Dans l'organisme humain, on reconnaît ainsi plus de 200 types cellulaires distincts. Ces cellules dérivent toutes d'une unique cellule initiale, mais leurs structures sont spécialisées en vue de fonctions précises au sein de l'organisme. Ces cellules sont totalement dépendantes du bon fonctionnement des autres cellules : chacune d'entre elles, bien qu'ayant le même matériel génétique (à de rares exceptions près, les gamètes, les lymphocytes, par exemple), exprime un programme génétique particulier qui la maintient dans une voie de différenciation.

Ce fractionnement des fonctions au sein de l'organisme pluricellulaire nécessite une coordination entre cellules, d'où l'émergence de systèmes de communication entre celles-ci.

IV- ORGANISATION TISSULAIRE

L'organisation d'un être humain peut être définie à différentes échelles : l'atome, la molécule, l'organite, la cellule qui est l'unité fondamentale de la structure de l'organisme humain, le tissu, l'organe qui est formé de plusieurs tissus, l'appareil ou système qui est un groupe d'organes avec des fonctions complémentaires ou similaires. **L'histologie**, ou anatomie microscopique, est l'étude des tissus, à la fois sur un plan descriptif et fonctionnel. L'histologie se situe au carrefour de plusieurs autres disciplines, comme la biologie moléculaire, la biochimie, la biologie cellulaire, la physiologie et l'anatomie.

Le terme de tissu désigne un ensemble de cellules présentant une structure semblable et remplissant une (ou des) fonction commune. Un tissu peut être un tissu simple ou un tissu composé. Dans le corps humain, 4 tissus simples ou primaires peuvent être distingués :

- 1) le tissu épithélial, qui est un tissu de revêtement (par exemple l'épiderme) ou un tissu glandulaire (par exemple le pancréas exocrine) ;
- 2) le tissu conjonctif, assurant différentes fonctions comme le soutien, la protection la liaison entre d'autres tissus ;

3) le tissu musculaire (strié squelettique, lisse, cardiaque) dont les contractions permettent le mouvement et

4) le tissu nerveux (central et périphérique) permettant la communication et la régulation au sein de notre organisme.

Un tissu composé, est une combinaison de tissus simples, qui y sont associés morphologiquement et fonctionnellement. Ainsi, la plupart de nos organes contiennent des tissus des 4 groupes primaires, la disposition de ces derniers au sein de l'organe, avec la participation d'éléments vasculaires et d'éléments nerveux, déterminant sa structure et ses capacités fonctionnelles.